卫矛科沟瓣属与卫矛属的数量分类学研究

刘慧圆 [1,2]，孟世勇 [3]，刘全儒 [1*]

（1. 北京师范大学 生命科学学院，北京 100875；2. 中国科学院植物研究所 系统与进化植物学国家重点实验室，北京 100093；3. 北京大学 生物系，北京 100871）

摘要:卫矛属(*Euonymus* L.)和沟瓣属(*Glyptopetalum* Thw.)的系统关系长期以来备受争议。为了理清它们之间的关系，本研究选择沟瓣属 12 种、卫矛属 17 种和假卫矛属(*Microtropis* Wall. ex Meisn.) 2 种，共计 31 个 OTUs，测量并统计了 56 个形态性状，利用聚类分析（UPGMA）和主坐标分析（PCoA）方法进行了数量分类学研究。结果表明：沟瓣属与卫矛属具有较高的表征相似性，二者之间存在的过渡类群有缙云卫矛（*E. chloranthoides* Yang）和淡绿叶卫矛（*E. pallidifolium* Hayata）以及海南沟瓣[*G. fengii* (Chun & F. C. How) Ding Hou]、白树沟瓣[*G. geloniifolium* (Chun & F. C. How) C. Y. Cheng]。本研究认为将沟瓣属作为卫矛属的一个组—沟瓣组(sect. *Glyptopetalum*)，放在冬青卫矛组(sect. *Ilicifolia*) 附近更为合理。对性状的主坐标排序分析显示，叶片长度、叶片宽度、叶侧脉数目、花瓣数目、心室数目、每室胚珠数、花序分支数、是否具有假种皮、蒴果是否开裂、花期与果序梗长度在卫矛属分类中具有重要的价值。

关键词:卫矛属，沟瓣属，形态性状，数量分类学，聚类分析，主坐标分析

中图分类号：Q949 **文献标识码**：A

A numerical taxonomic analysis of *Glyptopetalum* and *Euonymus* (Celastraceae)

LIU Huiyuan[1,2], MENG Shiyong[3], LIU Quanru[1*]

（1. *College of Life Sciences*, *Beijing Normal University*, Beijing 100875, China; 2. *State Key Laboratory of Systematic and Evolutionary Botany*, *Institute of Botany*, *Chinese Academy of Sciences*, Beijing 100093, China; 3. *College of Biology*, *Peking University*, Beijing 100871, China）

Abstract: The systematic relationship between the genera *Euonymus* L. and *Glyptopetalum* Thw. has been controversial for a long time. In order to clarify it, we selected 31 species (12 from *Glyptopetalum*, 17 from *Euonymus*, and 2 from *Microtropis* Wall. ex Meisn.), measured 56 morphological characters of them, and performed cluster analysis (unweighted pair group method

---

基金项目：国家自然科学基金（31770213）[Supported by the National Natural Science Foundation of China(31770213)]。

作者简介：刘慧圆（1982-），女，辽宁沈阳人，博士，工程师，主要从事植物分类学和植物地理学研究，（E-mail）liuhy@ibcas.ac.cn。

[*]**通信作者**：刘全儒，教授，主要从事植物分类学和植物地理学研究，（E-mail）liuquanru@bnu.edu.cn。

using arithmetic average) as well as principal coordinate analysis. It was shown that *Glyptopetalum* and *Euonymus* had a high morphological similarity, between which were some transition groups, e.g. *Euonymus chloranthoides* Yang, *E. pallidifolius* Hayata, *Glyptopetalum fengii* (Chun et F. C. How) Ding Hou, and *G. geloniifolium* (Chun et F. C. How) C. Y. Cheng. The study suggested that it is more reasonable to place *Glyptopetalum* as *Euonymus* sect. *Glyptopetalum*, near *E.* sect. *Ilicifolia*. The principal coordinate analysis showed the great taxonomic value of some characters in *Euonymus*, including leaf blade length and width, number of lateral veins, petals, locules, ovules per locule, inflorescence branches, presence/absence of aril, dehiscence of capsule, flowering time, and infructescence stalk length.

Key words: *Euonymus* L., *Glyptopetalum* Thw., morphological characters, quantitative taxonomy, cluster analysis (UPGMA) , principal coordinate analysis(PCoA)

卫矛属隶属于卫矛科(Celastraceae)卫矛族(Euonymeae)，包括传统上以蒴果形态为主要划分依据而建立的 5 个组：翅果卫矛组(sect. *Uniloculares*)、深裂卫矛组(sect. *Melanocarya*)、刺果组(sect. *Echinococcus*)、冬青卫矛组(sect. *Ilicifolii*)和卫矛组(Sect. *Euonymus*)，约 129 种，模式种是欧卫矛(*Euonymus europaeus* L.)，分布于东西两半球的亚热带和暖温带地区，我国西南地区是其现代分化与多样性中心(诚静容等，1999; Ma，2001)。沟瓣属(*Glyptopetalum* Thw.)因具有 4 数花，子房每室具有 1 个倒生胚珠等特征从卫矛属中独立出来(Thwaites, 1856)，模式种为锡兰沟瓣(*Glyptopetalum zeylanicum* Thw.)，约有 40 种，分布亚洲热带及亚热带，我国有 10-13 种，分布广西、云南、海南和台湾等热带或亚热带地区，是沟瓣属分布的北缘(Hou, 1963; 诚静容等, 1999; Meng et al., 2012)。然而沟瓣属的系统地位一直存在争议。一些学者根据沟瓣属具有 4 数花、每个心皮仅有 1 枚胚珠、种脊具有 3~7 条分支等多处生殖结构特征，坚持将其作为一个独立的属处理(Prain, 1891; Hou, 1962; 诚静容等, 1999; Meng et al., 2012; Simmons et al., 2012; Savinov, 2014)。而有的学者(Kurz, 1877; Baillon, 1880)认为卫矛属变异范围较大，沟瓣属的特征应属于卫矛属的变异范围。Simmons et al. (2012)结合形态学和叶绿体基因(matK, trnL-F)、核基因（ITS 和 26S rDNA）对卫矛族（Euonymeae）进行了系统发育分析，结果显示沟瓣属与卫矛属植物共同组成一个单系类群。Li et al.(2014)对卫矛属、沟瓣属等 48 个物种，利用 2 段核基因序列（ITS 和 ETS）和 3 段叶绿体基因 (psbA-trnH、rp136-infA-rps8 和 trnC-ycf6)做了最大似然法（MP）和贝叶斯分析（BI），结果显示沟瓣属与卫矛属共同组成一个单系类群。然而前人的研究都是基于少数（2 个或 3 个）沟瓣属物种作为代表，或者仅根据少数几个分子片段，缺乏系统的、包括沟瓣属大多数物种的分析。正如有的学者所说，沟瓣属与卫矛属的系统位置关系需要进一步的深入分析(Simmons et al., 2012)。

数量分类学（numerical taxonomy）自 20 世纪 60 年代由 Sokal 和 Sneath 创立以来，逐渐兴起并形成了与分支分类学（cladistics）、进化分类学（evolutionary taxonomy）并列的学派。数量分类学本身并不产生任何的系统，但是它可以对现存的分类系统进行验证分析，纠正一些错误的观点，发现以前被忽视的有用性状 (钟扬和陈家宽，1991)。人们通过数量分类学分析方法已经解决了许多分类上的疑难问题 (钟扬和陈家宽, 1991; 戴思兰等, 1995; 熊治廷等, 1997; 彭焱松等, 2007; 张景博等, 2010; 陈旭波等, 2012)，并已经在卫矛属研究中运用，发现能较好地反映一些物种之间的相互关系，如郑彦超等 (2012) 对卫矛属刺果卫矛组做了数量分类学分析，认为厚叶卫矛 (*E. hemsleyanus*) 与紫刺卫矛 (*E. angustatus*)、棘刺卫矛 (*E. echinatus*) 与无柄卫矛 (*E. subsessilis*)等不应该合并；Yao (2018b) 根据花的形态结构特征对卫矛属做了数量分类学分析，研究显示每心皮含胚珠数量等特征在分类学中具有重要的价值。本文利用聚类分析（UPGMA）和主坐标分析（PCoA）等方法对卫矛科中卫矛属

与沟瓣属植物之间的相互关系进行深入的分析，以探讨二者之间的系统分类关系。

1 材料与方法

1.1 材料

本研究所用的大部分材料来自中国科学院植物研究所标本馆（PE）、北京师范大学生命科学院植物标本馆(BNU)，部分材料为作者野外采集的新鲜材料。此外作者还到广西、云南和海南等地进行了野外实地观察，获得了许多性状数据。本文共选取沟瓣属 12 种，卫矛属中的冬青卫矛组 3 种、刺果卫矛组 3 种、卫矛组 6 种、深裂卫矛组 3 种、翅果卫矛组 2 种，假卫矛属 2 种，共计 31 个 OTUs（表 1）。由于卫矛属与假卫矛属（*Microtropis* Wall. ex Meisn.）都为叶对生、蒴果，但在系统地位上有一定距离(Simmonns & Jennifer, 1999)，因此本文选取假卫矛属作为卫矛属和沟瓣属的外类群。

1.2 方法

数量性状使用测量尺和电子游标卡尺测量完成，定性多态性状则是根据性状进行编码（表 1）。依据钟扬等(1990)数量分类性状选取原则，选取二元性状 36 个，连续数值性状 9 个，有序多态性状 11 个，共收集了 56 个性状指标（表 2）。性状选取和编码参考郑彦超等（2012）和李超等（2013）。

聚类分析和多变量分析均采用 NTSYS-pc 2.10e 软件包进行分析(Rohlf, 2005)。

聚类分析：首先将原始数据转换后，进行标准化处理；其次，计算距离矩阵；第三， 依据距离矩阵进行聚类分析，计算聚类树矩阵；第四，将聚类树矩阵和距离矩阵进行比较，进行 Mantel 检测，计算协表距离矩阵，及相关性系数，以表示该聚类树对原始距离矩阵的代表程度；最后，绘制聚类树图。运算方法采用 UPGMA (unweighted pair-group method using arithmetic averages)。

多变量分析：主成分分析（PCA）和主坐标分析（PCoA）是在数量分类学研究中常用的两种多变量分析方法，由于前者不适用于对离散的定性特征的分析(Sneath & Sokal, 1973; Schilling & Heiser, 1976; Kent & Coker, 1992)，因此近年来主坐标分析比主成分分析应用更多(Sneath, 2000; Khalik et al., 2002; Sebola & Balkwill, 2009)，本文也采用主坐标分析。具体步骤如下： 在标准化矩阵基础上求相关系数，然后求出相关系数的特征值和特征向量，最后得到特征性状在前三维主坐标分析中的负荷量，利用 Origin 2018 软件将前三主坐标展示三维散点图。

表 1 各类群的样本量

Table 1 List of taxa used for this study

编号 Number	分类群 Taxon	标本取样量 Samples	编号 Number	分类群 Taxon	标本取样量 Samples
1	*Euonymus aculeatus*	13	17	*E. theacolus*	45
2	*E. alatus*	15	18	*Glyptopetalum aquifolium*	3
3	*E. bockii*	41	19	*G. continentale*	17
4	*E. centidens*	11	20	*G. feddei*	25
5	*E. chloranthoides*	5	21	*G. fengii*	7
6	*E. dielsianus*	6	22	*G. geloniifolium*	12
7	*E. giraldii*	9	23	*G. ilicifolium*	12
8	*E. grandiflorus*	8	24	*G. lancilimbum*	4

9	*E. japonicus*	18	25	*G. longepedunculatum*	21
10	*E. maackii*	27	26	*G. longipedicellatum*	38
11	*E. myrianthus*	19	27	*G. reticulinerve*	2
12	*E. nitidus*	13	28	*G. rhytidophyllum*	34
13	*E. pallidifolius*	8	29	*G. sclerocarpum*	6
14	*E. scandens*	10	30	*Microtropis caudata*	4
15	*E. schensianus*	15	31	*M. osmanthoides*	4
16	*E. subsessilis*	9			

表 2 研究类群的性状编码

Table2 Code and type of character in Celastraceae

序号 No.	性状 Character	性状状态 Character state	性状编码 Encode
1	生境 Habitat	花岗岩基质 Granite matrix	0
		石灰岩基质 Limestone matrix	1
2	习性 Habit	灌木 Shrub	0
		乔木 Arbor	1
		藤本 Vine	2
3	枝条形态 Branches	四棱形 Tetragonal	0
		圆形 Round	1
4	叶片边缘形态 Leaf margin	全缘 Entire	0
		锯齿 Serrate	1
5	叶片边缘是否具有刺状齿 Spinose-serrate of leaf margin	否 No	0
		是 Yes	1
6	叶片长度 Blade length	≤10cm	0
		≤20cm, ＞10cm	1
		＞20cm	2
7	叶片宽度 Blade width	≤5cm	0
		＞5cm	1
8	叶柄长度 Petiole length	≤5mm	0
		＞5mm	1
9	叶片基部形态 Leaf base shape	楔形 Cuneate	0
		圆形 Rounded	1
10	叶片尾尖长度 Caudate tip length	≤1cm	0
		＞1cm	1
11	叶片侧脉数目 Number of lateral veins	≤6	0
		≤10, ＞6	1
		＞10	2
12	叶形（叶片宽度/叶片长度） Leaf shape (Blade width / Blade length)		

13	叶脉密度（叶脉数目/叶片长度） Vein density(Number of lateral veins / Blade length)		
14	叶柄相对长度（叶柄长度/叶片长度） Relative Petiole length (Petiole length / Blade length)		
15	叶片尾尖相对长度（尾尖长度/叶片长度） Relative Caudate tip length (Caudate tip length / Blade length)		
16	叶片上表面状况 Condition of upper leaf surface	下凹 Concave	0
		不下凹 Not concave	1
17	叶片上表皮是否具有气孔器 Stomatal apparatus of upper epidermis	有 Present	0
		无 Absent	1
18	叶片上表皮的细胞形态 Shape of upper epidermal cells	多边形 Polygonal	0
		不规则形 Irregular	1
19	叶片上表皮表面纹饰 Upper epidermis surface decoration	光滑 Smooth	0
		瘤状突起 Tuberculatae	1
		条状隆起 Strip raised	2
20	叶片下表皮表面状况 Condition of lower leaf surface	叶脉凸起 Veins prominent	0
		叶脉平 Veins plane	1
21	叶片下表皮气孔类型 Types of stomata in the lower epidermis	无规则型 Irregular	0
		无规则型和环列型 Irregular and circular	1
22	叶片下表皮表面纹饰 Surface decoration of lower epidermis	光滑 Smooth	0
		瘤状突起 Tuberculatae	1
		条状凸起 Strip raised	2
23	花期 Flowering phase	早春（1-3 月） Early spring (January-March)	0
		晚春（4-6 月） Deep spring (April –June)	1
		夏天（7-9 月） Summer (July-September)	2
		秋冬（10-12 月） Autumn and winter (October- December)	3
24	花序分支数目 Number of inflorescence branches	≤3	0
		＞3	1
25	花梗长度 Pedicel length	≤2cm	0
		＞2cm	1
26	花的直径 Diameter of corolla		
27	花瓣的颜色 Petal color	白色 White	1
		黄绿色 Yellow green	0
		红色 Red	2

28	花瓣数目 Petal number	4	0
		5	1
29	有无花丝 With or without filaments	有 Yes	0
		无 No	1
30	花丝长度 Filament length		
31	心室数目 Locule number	2	0
		4	1
		5	2
32	胚珠着生状况 Ovulation status	倒生 Anatropous	0
		直立 Upright	1
33	每室胚珠数目 Ovules per chamber	=1	0
		＞1	1
34	果序梗长度 Infructescence stalk length	≤2cm	0
		＞2cm	1
35	果梗长度 Podogyne lenth	≤4cm	0
		＞4，≤6cm	1
		＞6cm	2
36	蒴果的直径 Capsule diameter	≤1.5cm	0
		＞1.5cm	1
37	蒴果果皮形态 Pericarp of capsule	光滑 Smooth	0
		瘤状突起 Strumose	1
38	蒴果颜色 Color of capsule	白色 White	0
		黄色 Yellow	1
39	蒴果表面纹饰 Capsule surface decoration	具有糠秕状斑点 Maculate	0
		光滑 Smooth	1
40	蒴果是否具有刺 Capsule spiny or not	是 Yes	0
		无 No	1
41	蒴果是否具有翅 Capsule winged or not	是 Yes	0
		无 No	1
42	蒴果是否浅裂 Capsule lobed or not	是 Yes	0
		无 No	1
43	蒴果是否深裂 Capsule deeply split or not	是 Yes	0
		无 No	1
44	蒴果是否开裂 Capsule dehiscent or not	是 Yes	0
		无 No	1
45	蒴果开裂后果皮卷向 Pericarp curling after dehiscence	内卷 Toward inner side	0
		外卷 Toward outer side	1
46	蒴果开裂后中轴宿存	是 Yes	0
	With a persistent central axis or not after dehiscence	无 No	1
47	每室种子数目 Number of seeds per chamber	=1	0
		＞1	1

48	种子形态 Seed morphology	椭圆形 Ellipse	0
		卵行 Obovate	1
49	种子的颜色 Seed color	黄色 Yellow	0
		红色 Red	1
		紫色 Purple	2
50	种子长度 Seed length		
51	种子宽度 Seed width		
52	种脊分支 Situation of raphe branches	是 Yes	0
		否 No	1
53	种子形状（种子宽/种子长）Seed shape(Seed width / Seed length)		
54	是否具有假种皮 Whether there is aril	是 Yes	0
		否 No	1
55	假种皮包被种子情况 Condition of seeds enveloped by aril	全部包被 Full enveloped	0
		部分包被 Incomplete enveloped	1
56	假种皮颜色 Aril color	黄色 Yellow	0
		红色 Red	1
		紫色 Purple	2

2 结果与分析

2.1 聚类分析

对卫矛属和沟瓣属以及假卫矛属组成的 31 个 OTUs 进行 UPGMA 聚类分析的结果（图 1）显示，根据聚类图大致可以将 31 个 OTUs 分成 8 个类群：

A 类群包括假卫矛属（*Microtropis*）的两个种：尖尾假卫矛(*M. caudata*)和木樨假卫矛(*M. osmanthoides*)。这一类群与其他几个类群在结合线 1.3 处分开，其主要特征是：叶对生、全缘，花 5 数，花瓣白色，花柱粗短，心皮 2，子房每室具有 2 个胚珠，蒴果二裂，果皮光滑，无假种皮。

B 类群包括翅果卫矛组(sect. *Uniloculares*)的陕西卫矛(*E. schensianus*)和纤齿卫矛(*E. giraldii*)，主要特征是：叶对生，叶缘有纤毛状细锯齿，聚伞花序多花，花 4 数，黄绿色，心皮 4，蒴果背棱延伸成翅，开裂后果皮不卷，种子全部被橘黄色假种皮包围。

C 类群包括和深裂卫矛组(sect. *Melanocarya*)的卫矛(*E. alatus*)、百齿卫矛(*E. centidens*)和裂果卫矛(*E. dielsianus*)，主要特征是叶对生，花 4 数，浅黄绿色，子房每室具有 1~2 个胚珠，假种皮包围种子一半以上。

D 类群包括卫矛组(sect. *Euonymus*)双籽亚组(subsect. *Euonymus*)的白杜卫矛(*E. maackii*)、中华卫矛(*E. nitidus*) 和多籽亚组(subsect. *Multiovulatae*)的大果卫矛(*E. myrianthus*)和大花卫矛(*E. grandiflorus*)，特征是叶对生，边缘有锯齿，花 4 数，黄白色，子房每室含 4 个到 6 个直立胚珠，蒴果浅裂，蒴果开裂后果皮不卷，假种皮半包或全包种子。

E 类群包括刺果卫矛组(sect. *Echinococcus*)的软刺卫矛(*E. aculeatus*)、无柄卫矛(*E. subsessilis*)和爬藤卫矛(*E. scandens*)，主要特征是藤本状灌木，叶对生，边缘有锯齿，花 4 数，花瓣黄白色，子房每室具有 1 个以上胚珠，蒴果具刺，假种皮全包种子。

F 类群包含冬青卫矛组(sect. *Ilicifolii*)的冬青卫矛(*E. japonicus*)、南川卫矛(*E. bockii*)、茶色卫矛(*E. theacolus*)和淡绿叶卫矛(*E. pallidifolius*)和沟瓣属沟瓣组(sect. *Glyptopetalum*)的海南沟瓣(*G. fengii*)、白树沟瓣(*G. geloniifolium*)，特征是叶对生，边缘有疏锯齿，花 4 数，黄

绿色，花丝短，子房每室具有 1 或 2 个倒生胚珠，蒴果圆形，光滑。

G 类群仅有缙云卫矛(*E. chloranthoides*) 1 种，特征是叶对生，边缘有锯齿，聚伞花序只有 3 花，花 5 数，紫红色，花瓣边缘有不整齐浅齿，雄蕊花丝短，子房每室含 1-2 个倒生胚珠，蒴果浅裂，种脊分支，假种皮包围种皮大部分。

H 类群主要为沟瓣属盘状组(sect. *Patelliformia*)植物，其主要特征是叶对生，花 4 数，子房每室具有 1 个倒生的胚珠，蒴果开裂后具有宿存中轴，果皮外卷，假种皮包围种子近一半，种脊分支。本类群又分成两个小类群，一类为皱叶沟瓣(*G. rhytidophyllum*)、长梗沟瓣(*G. longipedicellatum*)、硬果沟瓣(*G. sclerocarpum*)、大陆沟瓣(*G. continentale*)、罗甸沟瓣(*G. feddei*)和大果沟瓣(*G. reticulinerve*)，突出特征是乔木，叶片长超过 15 cm；另一类包括冬青沟瓣(*G. aquifolium*)、刺叶沟瓣(*G. ilicifolium*)、披针叶沟瓣(*G. lancilimbum*)和细梗沟瓣(*G. longepedunculatum*)，主要特征是灌木，叶片长小于 15 cm。

2.2 主坐标分析(PCoA)

主坐标分析结果显示前两个主坐标的贡献率分别为 18.2652%和 14.3652%，前 3 个主坐标的累积贡献率为 43.3994%。可见主坐标分析的方法较适合于卫矛属、沟瓣属和假卫矛属的分析。由表 4 可见，在第 1 轴坐标中，叶片长、叶片宽、叶脉数、花被数、花期、子房室数、果序梗长度、是否具有假种皮、蒴果是否开裂的负载值绝对值都在 0.6 以上，在第 2 轴坐标中，叶片长、花期、每室胚珠数的负载值绝对值在 0.65 以上。在第 3 轴坐标中，花序分支数与果序梗长度的负载值绝对值都在 0.8 以上。

主坐标分析结果（图 2）显示，31 个 OUTs 分成 2 个群体，其中一群是假卫矛属，另外一群则是沟瓣属和卫矛属的混合体。根据第 1 轴上（占了全部变量的 18.2652%），从沟瓣属逐渐过渡到卫矛属，中间没有明显的界线，而是具有过渡种，如白树沟瓣、海南沟瓣、缙云卫矛和冬青卫矛组的淡绿叶卫矛、冬青卫矛和茶色卫矛。根据第二轴（占全部变量的 14.3652%），卫矛属和沟瓣属则完全混在一起。

表 3 前 7 个主坐标轴的特征值、贡献率和累积贡献率

Table 3 Eigenvalue, percent and cumulative of first seven principal coordinates

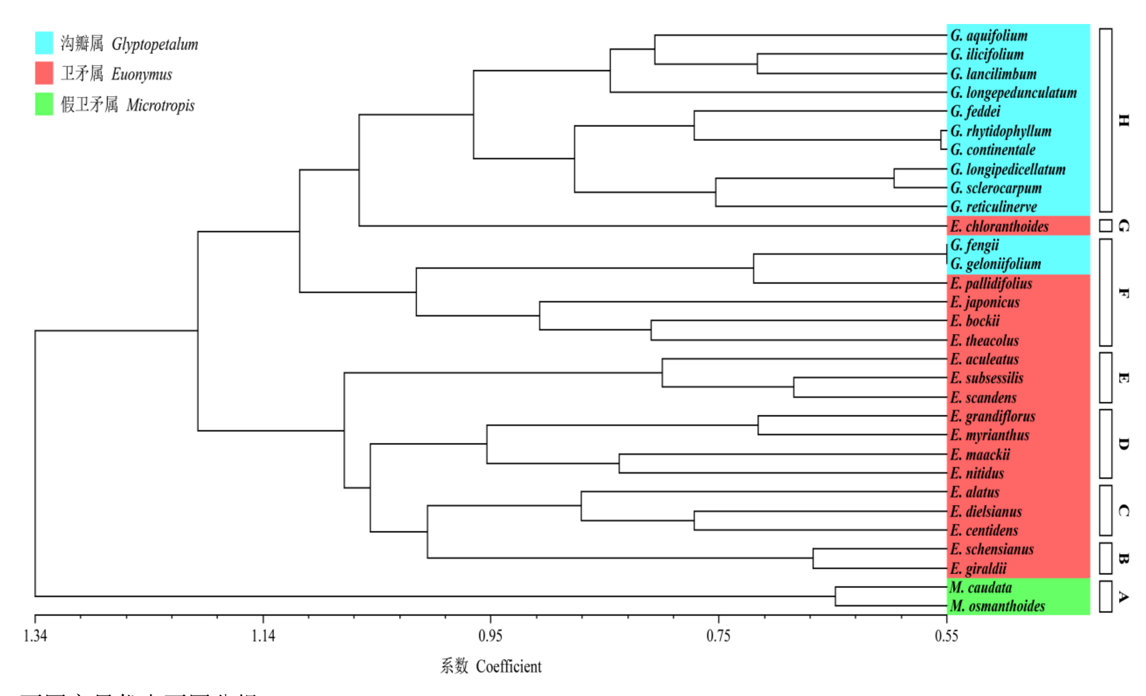
主坐标排序 Principal coordinates	特征值 Eigenvalue	贡献率 Percent（%）	累积贡献率 Cumulative（%）
1	5.516 370 24	18.265 2	18.265 2
2	4.338 526 28	14.365 2	32.630 4
3	3.252 410 25	10.769 0	43.399 4
4	2.930 105 10	9.701 8	53.101 3
5	2.264 654 88	7.498 5	60.599 7
6	2.078 629 59	6.882 5	67.482 3
7	1.750 980 12	5.797 6	73.279 9

表 4 卫矛属与沟瓣属的形态性状在前三轴主坐标分析中的负荷量

Table 4 Morphological characters showing highest factor loadings on the first three PCO

序 号 No.	形态性状 Morphological characters	主坐标 Principal coordinates		
		1	2	3
1	生境 Habitat	0.187 2	-0.392 5	0.300 8
2	习性 Habit	0.403 2	0.143 8	0.116 1
3	枝条形态 Branches	-0.042 7	-0.170 8	-0.562 2
4	叶片边缘形态 Leaf margin	-0.826 7	-0.096 7	0.384 8
5	叶片边缘是否具有刺状齿 Spinose-serrate of leaf margin	0.826 3	-0.179 2	0.017 3
6	叶片长度 Blade length	0.249 5	-0.138 3	0.143 8
7	叶片宽度 Blade width	-0.005 4	-0.071 7	0.189 5
8	叶柄长度 Petiole length	-0.531 7	-0.027 0	-0.132 4
9	叶片基部形态 Leaf base shape	0.331 0	-0.065 7	0.088 5
10	叶片尾尖长度 Caudate tip length	0.064 9	0.204 8	0.215 4
11	叶片侧脉数目 Number of lateral veins	0.518 7	-0.501 1	-0.211 6
12	叶形（叶片宽度/叶片长度） Leaf shape (Blade width / Blade length)	0.051 4	0.015 2	-0.063 9
13	叶脉密度（叶脉数目/叶片长度） Vein density(Number of lateral veins / Blade length)	-0.597 3	0.101 8	-0.173 7
14	叶柄相对长度（叶柄长度/叶片长度） Relative Petiole length (Petiole length / Blade length)	0.816 9	0.013 6	0.038 0
15	叶片尾尖相对长度（尾尖长度/叶片长度） Relative Caudate tip length (Caudate tip length / Blade length)	0.902 3	-0.001 1	0.024 1
16	叶片上表面状况 Condition of upper leaf surface	-0.740 1	0.189 9	-0.239 8
17	叶片上表皮是否具有气孔器 Stomatal apparatus of upper epidermis	0.822 5	0.126 1	0.223 9
18	叶片上表皮的细胞形态 Shape of upper epidermal cells	0.759 6	0.122 7	0.038 6
19	叶片上表皮表面纹饰 Upper epidermis surface decoration	0.487 1	-0.119 9	-0.140 1
20	叶片下表皮表面状况 Condition of lower leaf surface	-0.015 8	0.100 4	-0.511 5
21	叶片下表皮气孔类型 Types of stomata in the lower epidermis	0.776 6	0.073 1	0.059 8
22	叶片下表皮表面纹饰 Surface decoration of lower epidermis	0.512 3	-0.219 2	0.151 7
23	花期 Flowering phase	0.526 2	0.436 8	-0.807 3
24	花序分支数目 Number of inflorescence branches	-0.669 7	-0.148 1	0.040 4
25	花梗长度 Pedicel length	-0.298 9	-0.123 2	0.049 4
26	花的直径 Diameter of corolla	0.045 5	-0.700 1	-0.254 6
27	花瓣的颜色 Petal color	-0.638 2	-0.433 7	0.047 3
28	花瓣数目 Petal number	0.872 0	0.054 7	-0.225 8
29	有无花丝 With or without filaments	-0.177 8	-0.408 4	0.167 3
30	花丝长度 Filament length	0.704 5	0.021 5	-0.063 9
31	心室数目 Locule number	-1.014 2	-0.094 7	0.114 6
32	胚珠着生状况 Ovulation status	0.159 8	0.829 1	0.181 4
33	每室胚珠数目 Ovules per chamber	-0.670 4	0.335 8	0.014 5
34	果序梗长度 Infructescence stalk length	-0.028 6	0.172 0	0.205 0
35	果梗长度 Podogyne lenth	-0.359 5	-0.077 4	0.236 8

36	蒴果的直径 Capsule diameter	-0.440 4	-0.686 8	0.377 7
37	蒴果果皮形态 Pericarp of capsule	0.085 2	1.177 2	0.213 1
38	蒴果颜色 Color of capsule	-0.813 3	-0.876 0	-0.323 3
39	蒴果表面纹饰 Capsule surface decoration	0.266 2	-0.195 3	0.066 8
40	蒴果是否具有刺 Capsule spiny or not	-0.843 1	-0.139 7	-0.286 0
41	蒴果是否具有翅 Capsule winged or not	-0.900 5	-0.201 6	-0.162 9
42	蒴果是否浅裂 Capsule lobed or not	-0.716 2	-0.220 4	-0.248 4
43	蒴果是否深裂 Capsule deeply split or not	-0.805 6	0.075 7	-0.304 4
44	蒴果是否开裂 Capsule dehiscent or not	0.931 5	0.829 1	-0.243 6
45	蒴果开裂后果皮卷向 Pericarp curling after dehiscence	0.159 8	0.837 3	0.181 4
46	蒴果开裂后中轴宿存 With a persistent central axis or not after dehiscence	-0.093 2	0.049 3	0.166 5
47	每室种子数目 Number of seeds per chamber	0.835 3	0.380 1	-0.003 5
48	种子形态 Seed morphology	0.227 9	-0.130 3	0.402 3
49	种子的颜色 Seed color	-0.635 9	-0.320 4	-0.302 6
50	种子长度 Seed length	-0.741 7	-0.087 8	-0.405 1
51	种子宽度 Seed width	0.108 2	0.837 3	-0.160 8
52	种脊分支 Situation of raphe branches	-0.093 2	0.095 2	0.166 5
53	种子形状（种子宽/种子长）Seed shape(Seed width / Seed length)	-0.094 2	0.075 7	-0.017 3
54	是否具有假种皮 Whether there is aril	0.931 5	0.194 0	-0.243 6
55	假种皮包被种子情况 Condition of seeds enveloped by aril	-0.804 6	-0.340 3	0.723 7
56	假种皮颜色 Aril color	0.035 8	0.172 0	0.741 5



不同字母代表不同分组。

Different letters represent different groups.

图 1 卫矛属和沟瓣属以及假卫矛属的 UPGMA 聚类分析

Fig. 1 Q-cluster of *Euonymus*, *Glyptopetalum* and *Microtropis*(UPGMA)

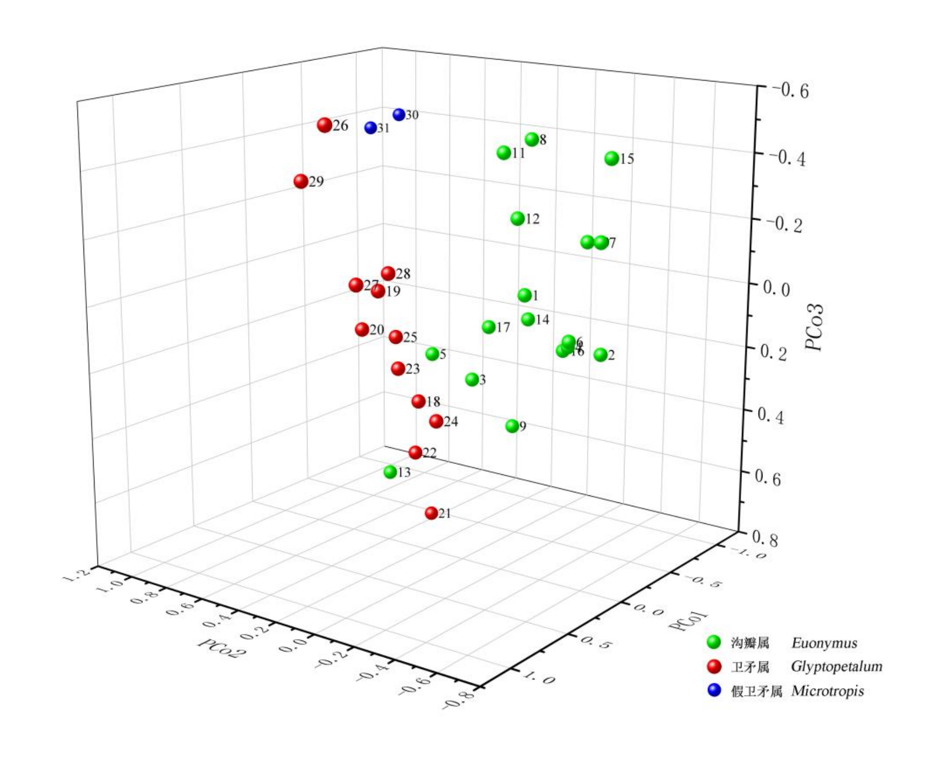


图 2 卫矛属和沟瓣属以及假卫矛属的主坐标分析三维散点图

Fig. 2 3D scatterplot PCoA analysis of *Glyptopetalum*, *Euonymus* and *Microtropis*

3 讨论

对 56 个性状进行聚类分析(UPGMA)的结果显示，沟瓣属被聚成两个类群，这与中国植物志(诚静容等, 1999)的结果一致，一个为盘状组(sect. *Patellifolrmia*)，另一个为沟瓣组(sect. *Glyptopetalum*)，而卫矛属则被聚成 6 个类群，其中刺果卫矛组(sect. *Echinococcus*)、翅果卫矛组(sect. *Kalonymus*) 、深裂卫矛组(sect. *Melanocarya*)和浅裂卫矛组(sect. *Euonymus*)都分别聚在了一起。由此可知，聚类分析的结果基本上符合前人的研究结果(诚静容等, 1999; Ma, 2001)。然而，沟瓣属与卫矛属并未如众多学者预想的那样分成两大独立的类群，而是与卫矛属交叉在一起。其中沟瓣组(Sect. *Glyptopetalum*)海南沟瓣和白树沟瓣与冬青卫矛组(sect. *Ilicifolia*)几个代表物种聚在一起。这是因为二者的果实纹饰相似，都属于圆果类。缙云卫矛则插入沟瓣属中，介于沟瓣属的两个组之间。因此从聚类图可知，沟瓣属与卫矛属冬青卫矛组具有最强的表征相似性。

根据主坐标排序图，虽然在排序图中沟瓣属植物和卫矛属都分别排列在一起，但是沟瓣属与卫矛属在整个主坐标排序图中排列得很紧密，中间并没有明显的界限。在排序图中，海南沟瓣和白树沟瓣与冬青卫矛组的淡绿叶卫矛、南川卫矛、冬青卫矛、茶色卫矛和缙云卫矛混在一起。海南沟瓣和白树沟瓣具有种子具有明显的分枝种脊，而且是 4 数花。缙云卫矛的花瓣具泡状皱纹，假种皮包围种子大部分，与种皮同色，种脊分支都是沟瓣属的特征，但是花 5 数，子房每室具有 1~2 个胚珠又与卫矛属相似(诚静容等, 1999)，聚类分析图以及主坐标排序图显示，缙云卫矛的位置并不确定，在表征聚类分析图中，缙云卫矛位于沟瓣属和卫矛属其他种之外，是介于假卫矛属与卫矛属和沟瓣属之间的一个种。在主坐标排序图中，缙云卫矛的位置是介于沟瓣属和卫矛属之间。综合表征聚类分析和主坐标排序，本研究认为缙

云卫矛是卫矛属与沟瓣属之间的过渡种。淡绿叶卫矛以前一直放在卫矛属中(Lu & Yang, 1993; 诚静容等, 1999; Ma, 2001; Liu & Funston, 2008)，但是具有分支的种脊和每室具有一枚胚珠和 4 数花，因此最近 Meng et al.(2012)将其组合到沟瓣属，本研究结果也显示淡绿叶卫矛在表征上与沟瓣属更接近。南川卫矛具有 4 数花，果实具有糠秕状斑点，但是假种皮全部包围种子，种脊不分支。我们在进行中国沟瓣属的分类学研究时，进行了大量的野外考察以及标本观察，亦发现沟瓣属与卫矛属之间存在一些过渡种，如卫矛属中发现了具有 4 数花的植物，如白杜卫矛(*E. maackii* Rupr.)等；子房每室仅具有 1 个倒生胚珠，如曲脉卫矛(*E. venosus* Hemsl.)等；蒴果常具有糠秕状斑点，如南川卫矛(*E. bockii* Loes.)；种脊具有多条分枝，如缙云卫矛(*E. chloranthoides* Yang)等。这与聚类分析和主坐标分析结果一致。因此沟瓣属与冬青卫矛组的特征具有很多的重叠，其中一些种具有过渡的特征。

Yao et al. (2018a, 2018b)对卫矛属和沟瓣属的花结构研究发现二者具有相似的花盘结构，沟瓣属大部分种类与冬青卫矛组部分种类的蒴果上的糠秕状斑点与刺果卫矛组的刺在发育上同源，都是花盘结构发育的结果；花粉研究也显示沟瓣属与卫矛属尤其是冬青卫矛组的花粉形态结构具有较高的相似性(张芬等, 2018)。结合我们基于叶表皮微形态特征和宏观形态共 56 个性状特征的聚类分析（UPGMA）和主坐标分析（PCoA）结果与分子系统学研究结果(Simmons et al., 2012; Li et al., 2014)， 以及孟世勇(2010)关于沟瓣属的种皮微形态特征与卫矛属的比较研究，我们认为沟瓣属并入到卫矛属，置于冬青卫矛组附近更为合理。

参考文献：

BAILLON HE, 1880. The natural history of plants, Vol. 6[M]. London: Reeve & Co.: 14-16.

CHEN XB, MENG SY, LIU QR, 2012. Numerical taxonomic analysis of *Stellaria* and *Myosoton* (Caryophyllaceae) [J]. Bull Bot, 47(3), 271–277.[陈旭波，孟世勇，刘全儒，2012. 石竹科繁缕属与鹅肠菜属的数量分类[J]. 植物学报，47(3)：271–277.]

CHENG JR, HUANG PH, MA JS, 1999. Flora Reipublicae Popularis Sinicae[M]. Beijing: Science Press, 45(3): 80-91. [诚静容，黄普华，马景盛，1999. 中国植物志[M]. 北京：科学出版社, 45(3)：80–91.]

DAI SL, ZHONG Y, ZHANG XY, 1995. Study on numerical taxonomy of some chinese species of *Dendranthema* (DC) Des Moul. [J]. J Beijing For Univ, 4: 9–15. [戴思兰，钟杨，张晓艳，1995. 中国菊属植物部分种的数量分类研究[J]. 北京林业大学学报，4：9–15.]

HOU D, 1962. Celastraceae - In: Van Steenis Flora Malesiana Series I, Vol. 6[M]. National Herbarium of the Netherlands: Leiden: 255-265.

HOU D, 1963. Two additional asiatic species of *Glyptopetalum* (Celastraceae) [J]. Blumea, 12(1): 57–60.

KENT M, COKER P, 1992. Vegetation description and analysis. A practical approach[M]. London: Belhaven Press: 1-363.

KHALIK KA, MAESEN LJGVD, KOOPMAN WJM, et al., 2002. Numerical taxonomic study of some tribes of Brassicaceae from Egypt[J]. Plant Syst Evol, 233(3-4): 207-221.

KURZ S, 1877. Forest Flora of British Burma, Vol. 2[M]. Calcutta: Office of the superintendent of government printing: 247-260.

LI C, LI J, ZJANG ML, 2013. A numerical taxonomical study of Epimedium L[J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 33(11):2339-2345. [李超，李娟，张明理，2013. 淫羊藿属植物的数量分类学研究[J]. 西北植物学报，33(11)：2339-2345.]

LI YN, XIE L, LI JY, et al., 2014. Phylogeny of *Euonymus* inferred from molecular and morphological data[J]. J Syst Evol, 52(2): 149–160.

LIANG ZX, ZHANG YL, NIU LX, et al., 2014. Phenotypic diversity of *Lilium browniinative* to

Qinba mountainous area [J]. Guihaia, 34(6): 727-733. [梁振旭，张延龙，牛立新，等，2014. 秦巴山区野百合表型多样性[J]. 广西植物，34(6)：727-733.]

LIU QR, FUNSTON AM, 2008. *Glyptopetalum* Thw.[M]//WU ZY, RAVEN PH, HONG DY, eds. Flora of China, Vol. 11. Celastraceae[M]. Beijing: Science Press; St. Louis: Missouri Botanical Garden Press: 463.

LU SY, YANG YP, 1993. Celastraceae[M]//HUANG ZQ ed. Flora of Taiwan, 2nd ed, Vol. 3. Editorial Committee of the Flora of Taiwan: 644–651.

MA JS, 2001. A review of *Euonymus* (Celastraceae) [J]. Thaiszia J Bot, 11: 1–268.

MENG SY, 2010. A revision of the *Glyptopetalum* Thw. (Celastraceae) in China[D]. Beijing: Beijing Normal University: 1-118. [孟世勇，2010. 中国沟瓣属（Celastraceae）的分类学修订[D]. 北京：北京师范大学：1-118.]

MENG SY, WANG JL, LIU QR, 2012. On the identity of *Euonymus pallidifolia* (Celastraceae) [J]. Ann Bot Fenn, 48(2) : 185-187.

PENG YS, CHEN L, LI JQ, 2007. Study on numerical taxonomy of *Quercus* L.(Fagaceae) in China[J]. J Wuhan Bot Res, 25(2) : 149–151. [彭焱松，陈丽，李建强，2007. 中国栎属植物的数量分类研究[J]. 武汉植物学研究，25(2)：149–151.]

PRAIN D, 1891. Noviciae Indicae IV. Two additional species of *Glyptopetalum*[J]. J Asiatic Soc Bengal, 60(2): 205-210.

ROHLF FJ, 2005. NTSYS-PC: Numerical taxonomy and multivariate analysis system, version 2.2. Exeter Software, Setauket: 1-44

SAVINOV IA, 2014. Taxonomic revision of Asian genus *Glyptopetalum* Thwaites (Celastraceae B. Br.) [J]. Reinwardtia, 14(1): 183-192.

SCHILLING EE, HEISER CB, 1976. Re-examination of a numerical taxonomic study of *Solanum* species and hybrids[J]. Taxon, 25(4): 451-462.

SEBOLA RJ, BALKWILL K, 2009. Numerical phenetic analysis of *Olinia rochetiana* sensu lato (Oliniaceae) [J]. Kew Bull, 64(1): 95–121.

SIMMONS MP, JENNIFER PH, 1999. Relationships and morphological character change among genera of Celastraceae sensu lato (including Hippocrateaceae) [J]. Ann Mo Bot Gard, 86(3):723-757.

SIMMONS MP, MCKENNA MJ, BACON CD, et al., 2012. Phylogeny of Celastraceae tribe Euonymeae inferred from morphological characters and nuclear and plastid genes[J]. Mol Phylogenet Evol, 62(1): 9–20.

SNEATH PHA, 2000. Numerical classification of the chemical elements and its relation to the periodic system[J]. Found Chem, 2(3): 237-263.

SNEATH PHA, SOKAL RR, 1973. Numerical taxonomy[M]. San Francisco: W. H. Freeman: 1-573.

THWAITES GK, 1856. Description of new genera and species of Ceylon plants[J]. Hooker's J Bot Kew Gard Misc, 8: 266–271.

XIONG TZ, CHEN XQ, HONG DY, 1997. Numerical taxonomic studies of *Humerocallis* (Liliaceae) from China[J]. Acta Phytotax Sin, 35(4) : 311–316. [熊治廷，陈心启，洪德元，1997. 中国萱草属数量分类研究[J]. 植物分类学报，35(4)：311–316.]

YAO CY, DU C, ZUO YJ, et al., 2018a. The significance of floral features within infrageneric classification of *Euonymus* (Celastraceae) [J]. Flora, 242(2018): 53–60.

YAO CY, ZUO YJ, DU C, et al., 2018b. Morphological study of floral nectaries in *Euonymus* and

the probable origin of the echinate fruit surface[J]. Plant Divers, 40(1) : 35–40.
ZHANG F, WANG S, LIU QR, 2018. Comparing pollen morphology of *Glyptopetalum* Thwaites and *Euonymus* L.(Celastraceae) [J]. J Beijing Norm Univ(Nat Sci Ed), 54(5) : 616–621. [张芬，王珊，刘全儒，2018. 沟瓣属与卫矛属花粉微形态比较研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版)，54(5)：616–621.]
ZHANG JB, LI XD, LI JQ, 2010. A numerical taxonomic study of the *Carex* section Racemosae (Cyperaceae) in China [J]. J Wuhan Bot Res, 28(3) : 279–285. [张景博，李晓东，李建强，2010. 中国薹草属黑穗薹草组的数量分类研究[J]. 武汉植物学研究，28(3)：279–285.]
ZHENG YC, MU XY, LI YN, et al., 2012. A numerical taxonomic study of the *Euonymus* section *Echinococcus* (Celastraceae) [J]. Plant Divers Resour, 34(3) : 271–286.[郑彦超，沐先运，李研南，等，2012. 卫矛属刺果卫矛组的数量分类学分析[J]. 植物分类与资源学报，34(3)：271–286.]
ZHONG Y, CHEN JK, 1991. A numerical taxonomic study of populations of *Sagittaria pygmaea*[J]. Guihaia, 11(4) : 304–307. [钟扬，陈家宽，1991. 矮慈菇居群的数量分类研究[J]. 广西植物，11(4)：304–307.]
ZHONG Y, CHEN JK, HUANG DS, 1990. The methods and programs for numerical taxonomy [M]. Wuchang: Whuhan University Press: 14-27. [钟扬，陈家宽，黄德世，1990. 数量分类的方法与程序[M]. 武昌：武汉大学出版社：14-27.]